

文章编号: 1671-1637(2005)03-0083-04

大风浪中航行船舶的危险度估算模型

刘大刚¹, 徐东华², 吴兆麟¹

(1. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026; 2. 辽宁省海事局, 辽宁 大连 116001)

摘要: 根据风险分析理论, 结合模糊综合评定数学模型, 提出了一种对大风浪中航行船舶的危险度进行定量估算的模型。在进行了大量的专家问卷调查后, 得到了客滚船“燕京”轮在大风和大浪的作用下, 可能发生不同等级事故的模糊关系矩阵, 对该轮在大风浪中的不同航行方案进行了危险度的实际计算。结果显示, 当该轮遇到大风浪时, 按正常航线行驶, 发生事故的风险度较大; 按习惯的北上避风方案绕航, 风险度最小; 而按以上两方案的折衷方案行驶, 有较大风险。此方法可以较好地对船舶在大风浪中的危险状况进行定量、直观地描述, 可供船舶驾驶员和船舶安全管理者用来掌握大风浪中航行船舶的风险状况, 进而有效实施风险决策。

关键词: 交通安全; 航行船舶; 大风浪; 安全管理; 危险度估算; 模糊综合评定

中图分类号: U 698

文献标识码: A

Risk degree assessment model of navigating ship on heavy sea

Liu Da gang¹, Xu Dong hua², Wu Zhao lin¹

(1. School of Navigation, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. Liaoning Province Marine Safety Agency, Dalian 116001, China)

Abstract: Based on the theories of risk assessment and fuzzy comprehensive assessment, a new model of quantitative assessment to compute the risk degree of navigating ship on heavy sea was put forward. Using expert questionnaire method, the fuzzy relation matrix of occurring accident in different levels for a certain Ro/Ro vessel navigating on heavy sea was obtained, the risk degrees of different routes were calculated. The results show that on heavy sea the vessel faces a bigger risk degree on normal route, it has least risk degree on customary go north route, it has a relative bigger risk degree on the compromise route of the two routes. It can be seen that the model can describe the risk degree of ship navigating on heavy sea quantitatively and objectively, it is useful for ship risky decision making. 4 tabs, 1 fig, 8 refs.

Key words: traffic safety; navigating ship; heavy sea; safety management; risk degree assessment; fuzzy comprehensive assessment

Author resume: Liu Da gang (1961), male, associate professor, 86 411 84729640, dgliau61@yahoo.com.cn.

0 引言

风险分析是灾害研究中发展迅速的理论, 是对于存在风险的项目、工程和任务做风险决策的重要基

础^[1], 主要包括风险辨识、风险估算和风险评价, 对于存在风险的事件进行事先的风险估算, 即估算事故发生的可能性的多少, 是风险分析的重要内容^[2, 3]。船舶在大风浪中的危险状况是船舶驾驶人员、船东和船

收稿日期: 2005-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(60172044)

作者简介: 刘大刚(1961), 男, 辽宁大连人, 大连海事大学副教授, 博士研究生, 从事航海气象和交通运输安全保障研究。

舶安全管理部门所密切关注的重要问题之一,它直接关系到船舶及货物的安全和公司的效益。近年来,虽然船舶的抗风浪性能及海上大风浪预报的准确率都有所提高,但海上因大风浪引发的船毁人亡的事故仍不断发生^[4],因此,本文为了减小大风浪引起事故的损失,在大风浪来临之前,预先根据大风浪的强度、船型、船龄、船况、载况等因素,建立了对船舶的危险状况进行客观定量估算的模型^[9]。

1 大风浪中航行船舶风险估算模型

1.1 危险等级选定

参照中华人民共和国交通部公布的《水上交通事故统计办法》,建立了 3 000 t 以上或主机功率为 3 000 kW 以上船舶在大风浪中航行时的危险等级,见表 1。

表 1 水上事故分级

Tab. 1 Classification for marine accident

事故等级	I 级: 小事故	II 级: 一般事故	III 级: 大事故	IV 级: 重大事故
损失情况	没有达到一般事故等级以上的事故	人员有重伤,或直接经济损失在 300 万元(人民币)以下,50 万元以上	死亡 1~2 人,或直接经济损失在 500 万元以下,300 万元以上	死亡 3 人以上,或直接经济损失在 500 万元以上

1.2 致灾因子选取

致灾因子主要考虑自然因素对船舶的作用。在大风浪中应考虑的是大风、大浪和大涌较长时间作用于船体所产生的影响。对于不同海区航行的船舶,或不同的船型,侧面面有所不同,同时,航向与风向和浪向的夹角也必须给予考虑^[6]。

本文考虑了 2 个致灾因子,即大风和大浪各自的作用时间,同时对航向与大风浪方向的夹角也给予了考虑。

1.3 风险估算模型建立

对大风浪中航行船舶预先进行风险估算,是要得出对于特定船舶在将遇到的大风浪条件下,发生不同等级危险的可能性大小。根据专家评定的方法,可以给出特定船舶在不同的大风浪状态下,发生不同等级危险的分布情况。但是,气象台发布的大风浪预报,其准确率不可能达到 100%,而同一类型的船舶,甚至同一艘船,在不同的航次中,也会因为航区、装载等条件的不同,使其在大风浪中的危险状况发生改变,因此,必须对大风浪的预报准确率、船舶自身的各种特点加以综合考虑^[7]。设大风和大浪的可能状态分别为

$$A_1 = (a_{11}, a_{12}, \cdots, a_{1n}) \tag{1}$$

$$A_2 = (a_{21}, a_{22}, \cdots, a_{2m}) \tag{2}$$

式中: a_{1i} 和 a_{2i} 分别为不同等级的大风和大浪出现的概率。

使用专家经验评定的方法,可以得到对于不同船舶在不同载态下,在上述不同条件下航行时,发生 I~IV 级事故的概率,由此,可分别得到大风浪中航行船舶危险等级与风、浪致灾因子之间的模糊关系。其中风、浪的影响可分别表示为若干个 $m \times 4$ 和 $n \times 4$ 维模糊矩阵^[8]。若共分成 T 种不同的航行条件,则对于每一种航行状态,风的影响矩阵与浪的影响矩阵分别为

$$R_1(t) = \begin{bmatrix} r_{11}^{(1)}(t) & r_{12}^{(1)}(t) & r_{13}^{(1)}(t) & r_{14}^{(1)}(t) \\ r_{21}^{(1)}(t) & r_{22}^{(1)}(t) & r_{23}^{(1)}(t) & r_{24}^{(1)}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1}^{(1)}(t) & r_{n2}^{(1)}(t) & r_{n3}^{(1)}(t) & r_{n4}^{(1)}(t) \end{bmatrix} \begin{matrix} a_{11} \\ a_{12} \\ \vdots \\ a_{1n} \end{matrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1^{(1)}(t) & \alpha_2^{(1)}(t) & \alpha_3^{(1)}(t) & \alpha_4^{(1)}(t) \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$R_2(t) = \begin{bmatrix} r_{11}^{(2)}(t) & r_{12}^{(2)}(t) & r_{13}^{(2)}(t) & r_{14}^{(2)}(t) \\ r_{21}^{(2)}(t) & r_{22}^{(2)}(t) & r_{23}^{(2)}(t) & r_{24}^{(2)}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1}^{(2)}(t) & r_{m2}^{(2)}(t) & r_{m3}^{(2)}(t) & r_{m4}^{(2)}(t) \end{bmatrix} \begin{matrix} a_{21} \\ a_{22} \\ \vdots \\ a_{2m} \end{matrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1^{(2)}(t) & \alpha_2^{(2)}(t) & \alpha_3^{(2)}(t) & \alpha_4^{(2)}(t) \end{bmatrix} \tag{4}$$

式中: $r_{ij}^{(1)}(t) (i=1, 2, \cdots, n; j=1, 2, 3, 4)$ 为在某一种航行状态 $t (t=1, 2, \cdots, T)$ 条件下,出现大风状态 a_{1i} 时,发生 j 等级事故的概率; $r_{ij}^{(2)}(t) (i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, 3, 4)$ 为在某一种航行状态 $t (t=1, 2, \cdots, T)$ 条件下,出现大浪状态 a_{2i} 时,发生 j 等级事故的概率。

当收到了航行海区的风浪预报,确定了某一航行方案后(对应于状态 t_1, t_2, \cdots, t_k),则该船此航行方案的危险度即可按下列方式求出。在大风浪的作用下,此航行方案危险等级分别为

$$B_1 = \left[\max_{1 \leq k \leq K} \{A_1 \circ \alpha_1^{(1)}(t_l)\}, \max_{1 \leq k \leq K} \{A_1 \circ \alpha_2^{(1)}(t_l)\}, \right. \\ \left. \max_{1 \leq k \leq K} \{A_1 \circ \alpha_3^{(1)}(t_l)\}, \max_{1 \leq k \leq K} \{A_1 \circ \alpha_4^{(1)}(t_l)\} \right] = (x_1, x_2, x_3, x_4) \tag{5}$$

$$B_2 = \left[\max_{1 \leq k \leq K} \{A_2 \circ \alpha_1^{(2)}(t_l)\}, \max_{1 \leq k \leq K} \{A_2 \circ \alpha_2^{(2)}(t_l)\}, \right. \\ \left. \max_{1 \leq k \leq K} \{A_2 \circ \alpha_3^{(2)}(t_l)\}, \max_{1 \leq k \leq K} \{A_2 \circ \alpha_4^{(2)}(t_l)\} \right] = (y_1, y_2, y_3, y_4) \tag{6}$$

式中: $x_i (i=1, 2, 3, 4)$ 为在大风的作用下, 发生 I ~ IV 等级事故的风险度; $y_i (i=1, 2, 3, 4)$ 为在大浪的作用下, 发生 I ~ IV 等级事故的风险度。

在大风浪中, 船舶危险度等级模糊评定结果为

$$B = (z_1, z_2, z_3, z_4) \quad (7)$$
$$z_i = x_i + y_i - x_i y_i$$

式中: $z_i (i=1, 2, 3, 4)$ 为在大风浪的共同作用下, 发生 I ~ IV 等级事故的风险度。

2 “燕京”轮发生事故可能性模糊矩阵

2.1 “燕京”轮概况

“燕京”轮隶属于天津津神客货轮船有限公司, 船长为 135 m, 型宽为 20.6 m, 满载吃水为 5.9 m, 总载质量为 9 960 t, 装有 9 940 kW 可变螺距主机一部, 并配有防摇鳍和一部首测推器。“燕京”轮可装载集装箱 161 TEU, 可乘客 442 名。“燕京”轮满载时, 最小允许吃水差为 0.5 m, 最大允许吃水差为 3 m, 最大允许初始横倾角为 5°。“燕京”轮的营运区域为天津—日本神户, 航线为天津—长山水道(或老铁山水道)—成山头—红岛—孟骨水道—对马海峡—濑户内海—神户。

2.2 致灾因子选定

按照天津津神客货轮船有限公司制定的“燕京”轮操作限制清单规定, 为了确保船舶、旅客、船员和货物的安全, 航行中如受台风影响情况严重时, 应择地抛锚避风; 如遇 8~9 级及以上大风时, 视船舶状况、航行区域及风向、风力、海面情况, 采取抛锚避风措施; 同时还规定, 当气象海况不良时, 如航行区域浪高超过 3.5~4.0 m, 则应视船舶状况和航行区域等, 采取绕航和避风抛锚等措施。

根据这些特点, 对“燕京”轮的致灾因子大风风力选取了 ≤ 6 、6~7、7~8、8~9 和 ≥ 9 级; 对于致灾因子大浪高度, 其可能的状态可分为: ≤ 3.5 、3.5~4.0、4.0~4.5、4.5~5.0 及 ≥ 5.0 m。对于以上致灾因子的影响, 再做以下具体划分: 大风和大浪的作用时间分为: ≤ 4 、4~8、8~12 和 ≥ 12 h; 航向与风向或浪向的夹角分别取 0°、45°、90°、135° 和 180°。这样, 对应于每一种不同的大风浪作用时间, 有 5 种不同的航向与风浪向夹角, 由此得到 20 种受大风浪影响的不同航行状态。

2.3 模糊关系矩阵建立

由此, 得到了“燕京”轮在大风和大浪作用下, 发生各级事故的可能性, 即模糊关系矩阵的形式。大风与大浪影响的模糊关系矩阵分别为

$$R_1(t) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{IV} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \begin{bmatrix} r_{11}^{(1)}(t) & r_{12}^{(1)}(t) & r_{13}^{(1)}(t) & r_{14}^{(1)}(t) \\ r_{21}^{(1)}(t) & r_{22}^{(1)}(t) & r_{23}^{(1)}(t) & r_{24}^{(1)}(t) \\ r_{31}^{(1)}(t) & r_{32}^{(1)}(t) & r_{33}^{(1)}(t) & r_{34}^{(1)}(t) \\ r_{41}^{(1)}(t) & r_{42}^{(1)}(t) & r_{43}^{(1)}(t) & r_{44}^{(1)}(t) \\ r_{51}^{(1)}(t) & r_{52}^{(1)}(t) & r_{53}^{(1)}(t) & r_{54}^{(1)}(t) \\ r_{61}^{(1)}(t) & r_{62}^{(1)}(t) & r_{63}^{(1)}(t) & r_{64}^{(1)}(t) \\ r_{71}^{(1)}(t) & r_{72}^{(1)}(t) & r_{73}^{(1)}(t) & r_{74}^{(1)}(t) \end{bmatrix} & \begin{matrix} \leq 6 \text{ 级} \\ 6 \sim 7 \text{ 级} \\ 7 \text{ 级} \\ 7 \sim 8 \text{ 级} \\ 8 \text{ 级} \\ 8 \sim 9 \text{ 级} \\ \geq 9 \text{ 级} \end{matrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (8)$$

$$R_2(t) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{IV} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \begin{bmatrix} r_{11}^{(2)}(t) & r_{12}^{(2)}(t) & r_{13}^{(2)}(t) & r_{14}^{(2)}(t) \\ r_{21}^{(2)}(t) & r_{22}^{(2)}(t) & r_{23}^{(2)}(t) & r_{24}^{(2)}(t) \\ r_{31}^{(2)}(t) & r_{32}^{(2)}(t) & r_{33}^{(2)}(t) & r_{34}^{(2)}(t) \\ r_{41}^{(2)}(t) & r_{42}^{(2)}(t) & r_{43}^{(2)}(t) & r_{44}^{(2)}(t) \\ r_{51}^{(2)}(t) & r_{52}^{(2)}(t) & r_{53}^{(2)}(t) & r_{54}^{(2)}(t) \end{bmatrix} & \begin{matrix} \leq 3.5 \text{ m} \\ 3.5 \sim 4.0 \text{ m} \\ 4.0 \sim 4.5 \text{ m} \\ 4.5 \sim 5.0 \text{ m} \\ \geq 5.0 \text{ m} \end{matrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (9)$$

式中: $t (t=1, 2, \dots, 20)$ 为某种大风浪作用时间下, 不同的航向与风浪向夹角条件下的航行状态。

3 大风浪对“燕京”轮影响的调查结果

为了得到分析的数据, 对长期服务于“燕京”轮上的船长、大副及公司高级管理人员进行了多次问卷式调查, 对发生各级事故可能性的隶属度进行了规定, 见表 2。

表 2 各级事故隶属度

Tab. 2 Subjection degrees of different accident grades

隶属度	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
意义	不会	极小	非常小	很小	较小	临界	较大	很大	非常大	极大	必定

在充分考虑了被调查人员的业务水平和实际经验后, 适当地对不同被调查人员的数据进行了权重处理。由于篇幅限制, 文中仅列了航向与浪向夹角为 0° 时, 大浪作用时间 ≤ 4 h 的情况, 见表 3。

表 3 模糊关系矩阵

Tab. 3 Fuzzy relation matrix

浪高/m	事故等级			
	I	II	III	IV
≤ 3.5	0.1	0.0	0.0	0.0
3.5~4.0	0.2	0.1	0.0	0.0
4.0~4.5	0.6	0.4	0.3	0.1
4.5~5.0	0.8	0.5	0.4	0.3
≥ 5.0	1.0	1.0	1.0	1.0

4 航行方案分析

4.1 不同航行方案的风险度估算

根据以上的理论分析及实际调查结果, 可以利

用模糊综合评判的方法,对实际的大风浪中航行时可能选用的航行方案进行风险度估算。

在冬季,“燕京”轮在由日本神户开往天津新港的航路上,穿越黄海时,如果偏北风较大,则会在每勿水道上取一个转向点:34°24′.6N/125°39′.0E,改航向为000°,北上至朝鲜半岛西岸的格列飞群岛南部:36°32′.6N/125°39′.0E,在改向为294°,直至成山头转向点:37°30′.0N/122°50′.0E。

此航法较计划航线,即从红岛、大黑山航向325°直达成山头,多走40 n mile,但由于从朝鲜西海岸较浅水域偏顶风航行,在一定程度上避开了黄海中部深水区的近横浪,船舶所受风浪冲击的强度得到了减轻。

在实际航行过程中,根据实际遇到的风浪情况,有时也会调整避风的绕航方案,如可能在北上至格列飞群岛南部以前的某处,就提前改向直驶成山头转向点。

针对上述船舶航运过程中的实际情况,选取了2002年12月9日“燕京”轮自日本神户返回天津新港航行中的有关实际资料,对该轮当时几种可能航行方案的危险度进行了估算。

所选的3个方案分别为:正常情况下的计划航线;习惯的北上避风绕航方案;北上途中在35°55′.0N/125°39′.0E处改向为294°,驶向成山头转向点。

根据气象预报,当天黄海中部和北部为偏北风,风力为8~9级。日本气象厅发布的2002年12月9日0000世界时海浪预报图和3个航行方案见图1。根据图1,可得到A、B、C3个方案的航程,并可依据“燕京”轮在不同风力、浪高、浪向和航向与浪向夹角下的经验航速,得不同大风浪区中的航行时间,

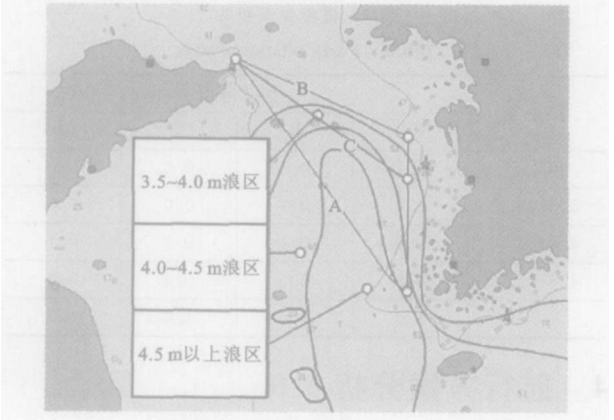


图1 海浪预报图和3个航行方案

见表4。

表4 航行方案
Tab. 4 Sailing plans

航行方案		A	B	C
航程/n mile		231	274	258
大风浪中航行时间和航向与风向/浪向的夹角	8~9级/4.5~5.0 m	10.0 h/0°	—	—
	8级/4.0~4.5 m	2.5 h/0°	1.0 h/45°	1.0 h/45° 4.0 h/0°
	7~8级/3.5~4.0 m	2.0 h/0°	6.0 h/45°	5.5 h/45° 3.0 h/0°
	≤7级/≤3.5 m	2.5 h/0°	0.5 h/45° 8.0 h/0°	3.0 h/0°
所用时间/h		17.0	15.5	16.5

在此基础上,参照前面所述“燕京”轮在不同航向与风向、浪向夹角、不同的大风等级、大浪高度和不同的大风、大浪作用时间下,发生不同等级事故可能性的模糊矩阵,得到3个航行方案下发生不同等级事故的风险度。A方案、B方案和C方案发生I~IV等级事故的风险度分别为

$$B_A = (0.8, 0.6, 0.4, 0.2)$$

$$B_B = (0.3, 0.1, 0, 0)$$

$$B_C = (0.6, 0.4, 0.3, 0.1)$$

4.2 不同航行方案对比分析

从上面的分析中可以看到,A方案距离最近,但因为要在8~9级大风和4.5~5.0 m的大浪中航行近10 h,因此,发生I、II级事故的可能性分别为“非常大”和“较大”。同时,由于风大浪高,被迫减速,航行时间也最长。

B方案,即习惯的北上绕航方案,距离虽然最远,但由于基本上完全避开了8级以上大风和4.0 m以上的大浪区,较大程度地避开大风浪区,减低大风浪对船舶的威胁,因此,发生各级事故的可能性都在“很小”或“极小”以下。而且,由于风浪相对较小,失速也小,航行时间反而最短。

C方案是A、B方案的折衷,也是航行实践中经常被采用的方案,并不像凭直觉预期的那样比B方案更有优势。由于C方案尚有5 h左右要在8级以上大风和4.0~4.5 m高的大浪区中航行,因此,发生I级事故的可能性为“较大”。从航速损失方面看,也不如B方案能够基本将8级以上大风和4.0 m以上的大浪避开,航行时间也比B方案要长。

5 结 语

当船舶将要穿越大风浪区时,对可供选择的各

(下转第97页)

晰,且易于进行结果比较。

(2)假定的潜在运输需求在实际确定时比较困难,本文提出改进型MD模型与传统预测方法相结合确定基年和未来通道潜在运输需求量的方法,逻辑清楚,易于操作。

(3)应用改进MD模型并结合其他方法预测通道全社会总潜在需求量的预测结果表明,基于不同运输方式服务水平变化的运量预测方法所预测运量与其他方法趋势基本一致,结果可信度高。

(4)应用此方法预测通道全社会总潜在需求量,确定各运输方式旅客总支付量和时间价值是十分重要的工作,需要进行深入研究,各运输方式服务水平的定量分析也需进一步研究和不断完善。

参考文献:

References:

- [1] 沈志云. 交通运输工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 中国交通运输协会. 中国旅客运输发展战略研究[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.

- [3] 王健伟. 东北亚国际运输通道[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(2): 77—82.
Wang Jian wei. Construction of international transportation corridor in Northeast Asia[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(2): 77—82. (in Chinese)
- [4] 毛保华, 曾会欣, 袁振洲. 交通规划模型及其应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [5] 铁道第三勘察设计院. 京沪高速铁路客运量预测专题研究报告[R]. 上海: 铁道第三勘察设计院, 2001.
- [6] 彭 辉, 陈宽民, 王京伟, 等. 陆桥通道旅客出行选择特征[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(1): 120—123.
Peng Hui, Chen Kuan min, Wang Jing wei, et al. Travel choice characteristics of transportation corridor of Europe Asia[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(1): 120—123. (in Chinese)
- [7] 盛杰辉, 伊 岭. 关于我国运输通道客运交通结构的研究与分析[J]. 交通科技与经济, 2005, 31(5): 60—61.
Sheng Jie hui, Yi Ling. Researching the structure of passenger traffic in our country[J]. Technology and Economy in Areas of Communications, 2005, 31(5): 60—61. (in Chinese)
- [8] 铁道第一勘察设计院, 长安大学. 郑西客运专线运量预测专题报告[R]. 兰州: 铁道第一勘察设计院, 2003.

(上接第86页)

种航行方案做事先的定量化风险评估,可以使船东、船舶管理部门和船舶驾驶员较充分、直观地预先知晓船舶在大风浪区中航行的危险程度,同时也可以直观地了解各种航行方案的优劣,为进行大风浪中航行方案选取这一风险决策问题提供重要的决策依据。由于不同船舶的特点相差很大,所以进行危险度估算时所用的船舶发生不同等级事故的可能性统计表也相差甚大,因此,不同船型的船舶必须依照各自的情况分别制定。如果能够利用专家问卷调查等方法,得到所关心船舶发生不同等级事故的可能性统计表,则本方法必将有助于船舶安全管理者提高大风浪中航行船舶的安全决策水平。

参考文献:

References:

- [1] Robert W R, James L R, Thomas D. Incorporating risk assessment and benefit cost analysis in environment management[J]. Risk Analysis, 1988, 8(3): 415—420.
- [2] 李世奎. 自然灾害系统辨识和风险评价模型图例[A]. 中国农业灾害风险评价与对策[C]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [3] 陈新民, 夏 佳, 罗国煜. 黄河下游悬河决口灾害的风险分析与评价[J]. 水利学报, 2000, 28(10): 12—16.

- Chen Xin min, Xia Jia, Luo Guo yu. Risk analysis and assessment for burst of Hanging river at down reaches of Huanghe river[J]. Journal of Hydraulics, 2000, 28(10): 12—16. (in Chinese)
- [4] 郭其顺. 世界海运事故的现状与原因分析[J]. 中国船检, 2000, 2(3): 43—45.
Guo Qi shun. Status and cause analysis of the world marine accidents[J]. China Ship Survey, 2000, 2(3): 43—45. (in Chinese)
- [5] 刘大刚, 郑中义, 吴兆麟. 大风浪中航行船舶的风险体系分析[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(2): 100—102.
Liu Da gang, Zheng Zhong yi, Wu Zhao lin. Risk analysis system of underway ships on heavy sea[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(2): 100—102. (in Chinese)
- [6] 湯淺通史, 重見利幸, 星乃泰之. 荒天航行時の船舶の運航限界について[J]. 日本海事協会会誌, 2002, 258(1): 49—61.
- [7] 刘大刚, 李志华. 大风风力预报准确率的统计特征分析[J]. 大连海事大学学报, 2003, 29(4): 47—49.
Liu Da gang, Li Zhi hua. Statistical characters of the accuracy of gale forecasting[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2003, 29(4): 47—49. (in Chinese)
- [8] 黄崇福, 王家鼎. 模糊信息优化处理技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.